

Sommario Termodinamica

- Temperatura e scale termometriche
- Calore e calore specifico, equilibrio termico
- Trasformazioni di stato, calore latente
- Gas perfetti ed equazione di stato
- **Principi della termodinamica**

Lezione (4) del 17/01/2018

La Termodinamica

Temperatura, calore ed effetti sulla materia

Temperatura e calore, grandezze diverse, concetti diversi, ma che sono intimamente legati tra loro

Temperatura:

Grandezza fondamentale associata alla sensazione caldo-freddo, è una proprietà di un corpo, che ne indica uno stato, l'energia cinetica media delle molecole

Calore:

Forma di energia che fluisce da un corpo ad un'altro

Quando un corpo perde calore la sua temperatura si abbassa

Quando trasferisco calore a un corpo questo aumenta la sua temperatura

Ma la temperatura di un corpo può aumentare/diminuire anche per altri motivi a parte i trasferimenti di calore!

La temperatura

Temperatura: proprietà per definire lo stato di un corpo
Grandezza fondamentale associata alla sensazione caldo-freddo

Quando c'è caldo i corpi si dilatano
Ricordare la definizione del metro campione

Come si misura: attraverso il volume, misura indiretta

$$V(T) = V_0(1 + \alpha T)$$
$$h(T) = h_0(1 + \alpha T)$$

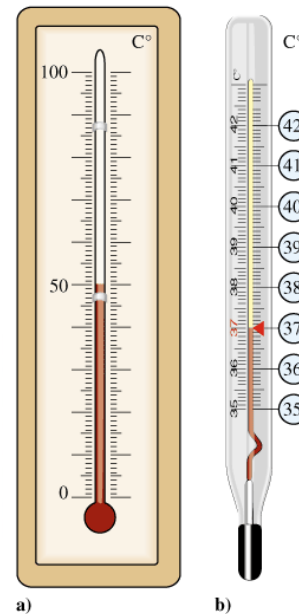
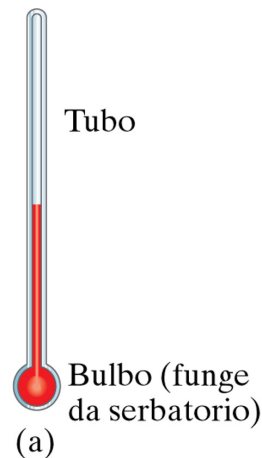
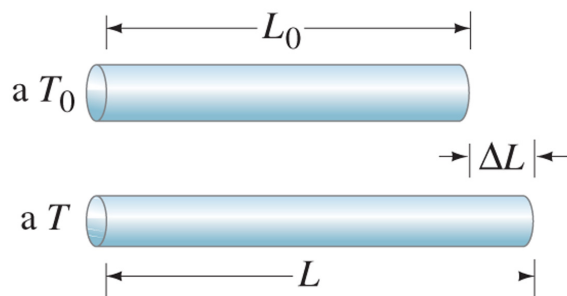


Figura 9.2
(a) Termometro a mercurio. (b) Termometro clinico, in cui si osserva il mercurio trattenuto dalla strozzatura nel capillare. La freccia indica la temperatura normale media del corpo umano.



Termometro a mercurio o a lamina bimetallica

Scale termometriche

Scale Celsius, Kelvin e Fahrenheit

- Scala Celsius: grado centigrado centesima parte tra due temperature
 1. Ghiaccio fondente 0 °C alla pressione atmosferica
 2. Acqua in ebollizione 100 °C alla pressione atmosferica

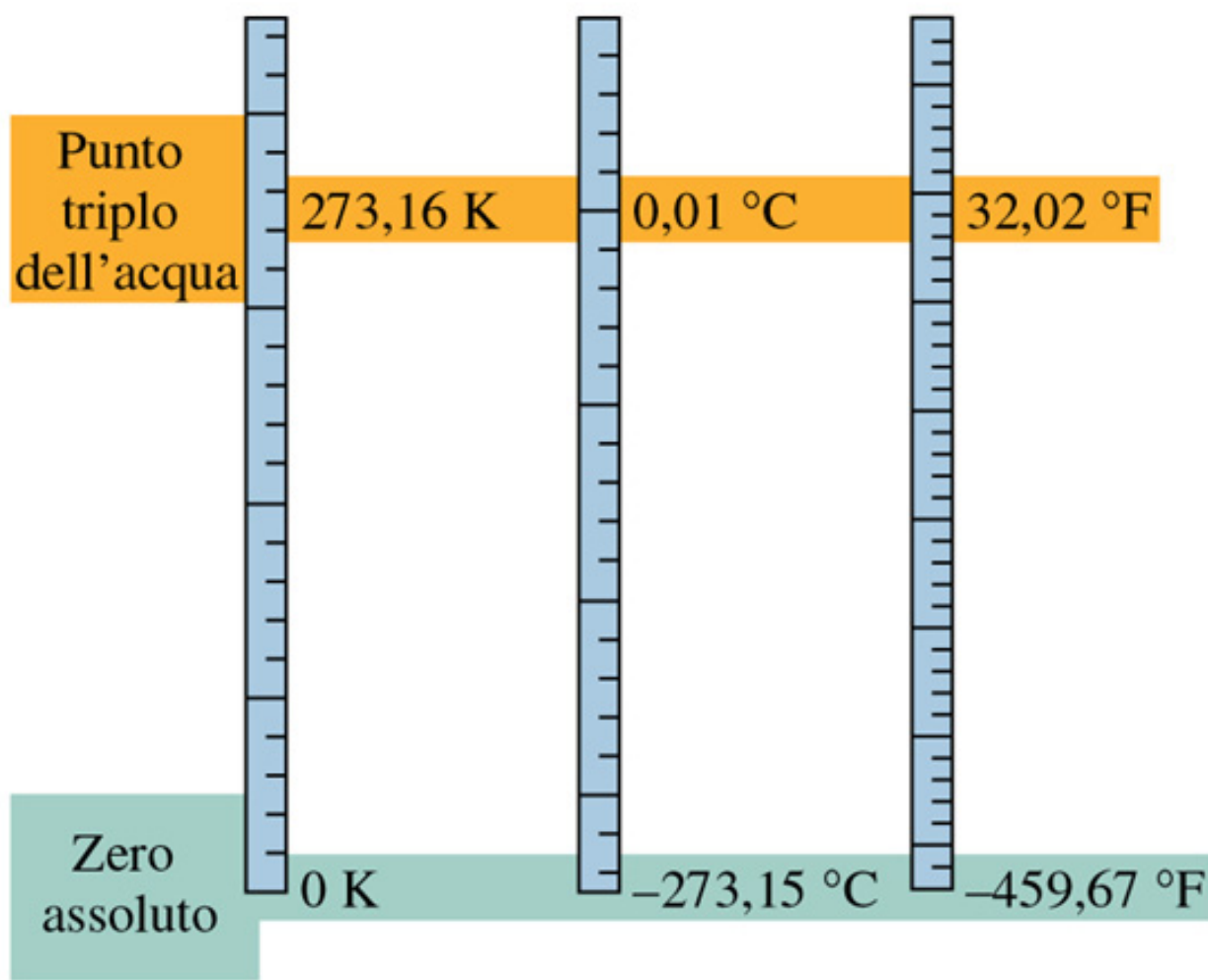
- Scala Kelvin: il grado Kelvin corrisponde al grado Celsius

Si chiama anche scala assoluta $T(K)=T(^{\circ}C)+273,15$

Lo zero assoluto è una temperatura limite della materia

- Scala Fahrenheit: scala usata nei paesi anglosassoni. Non c'è corrispondenza con il grado Celsius o assoluto

$$T(^{\circ}F)=9/5*T(^{\circ}C)+32$$



Il Calore

Calore:

Forma di energia di scambio tra corpi, non una vera e propria energia

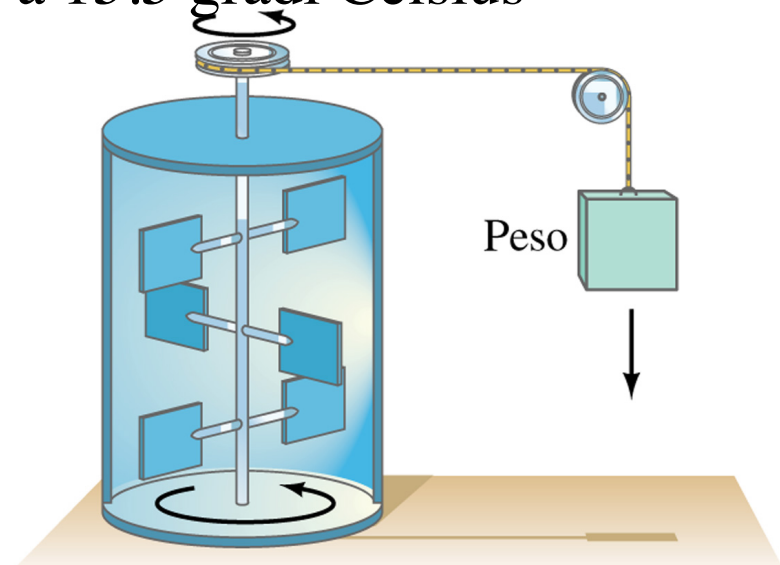
Comunemente si parla di flusso di calore

Il calore fluisce **spontaneamente** da un corpo a temperatura più alta a un corpo a temperatura più bassa.

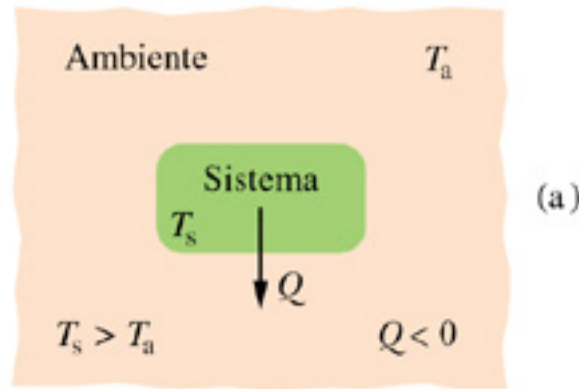
Storicamente si è assunto come unità la caloria, come l'energia per far passare 1 grammo di acqua da 14.5 a 15.5 gradi Celsius

Esperimento di Joule:
equivalente meccanico
(mgh , lavoro) della
caloria!

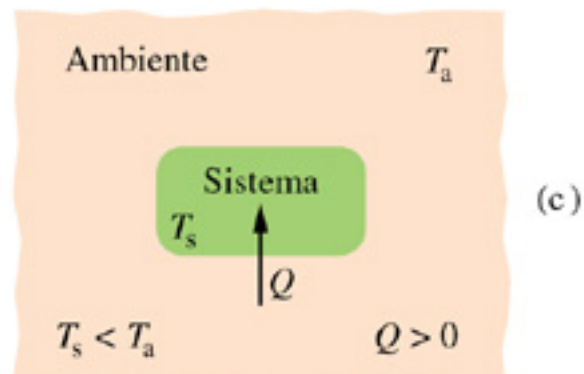
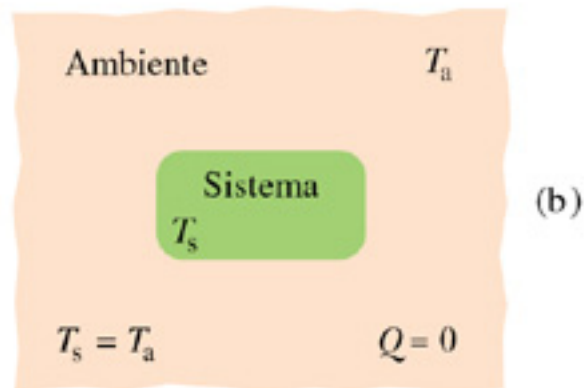
$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ Joule}$



Temperatura e calore, convenzioni



Calore perso < 0



Calore acquistato > 0

Assorbimento di calore

Sappiamo che se forniamo calore (per esempio con un fornello) a un corpo questo aumenta la sua temperatura, di quanto?

Equazione fondamentale: $Q=C*\Delta T$

ΔT aumento di temperatura

C è detta la **capacità termica (j/K)**

Capacità termica: proprietà di un corpo di aumentare la sua temperatura quando gli viene fornita dell'energia (calore)

La capacità termica si può esprimere come un prodotto:

$$C=m*c$$

m massa del corpo

c calore specifico (j/(K*kg))

e l'equazione fondamentale diventa

$$Q=m*c*\Delta T$$

Il calore specifico rappresenta la quantità di calore che dobbiamo dare a una massa unitaria per innalzare la temperatura di 1 grado

Calore e temperatura

Mentre la temperatura è un indice dell'energia media di un corpo (ricordate la definizione, energia cinetica media), l'energia assoluta di un corpo deve dipendere dalla sua massa!!!

Due corpi alla stessa temperatura hanno la stessa energia?

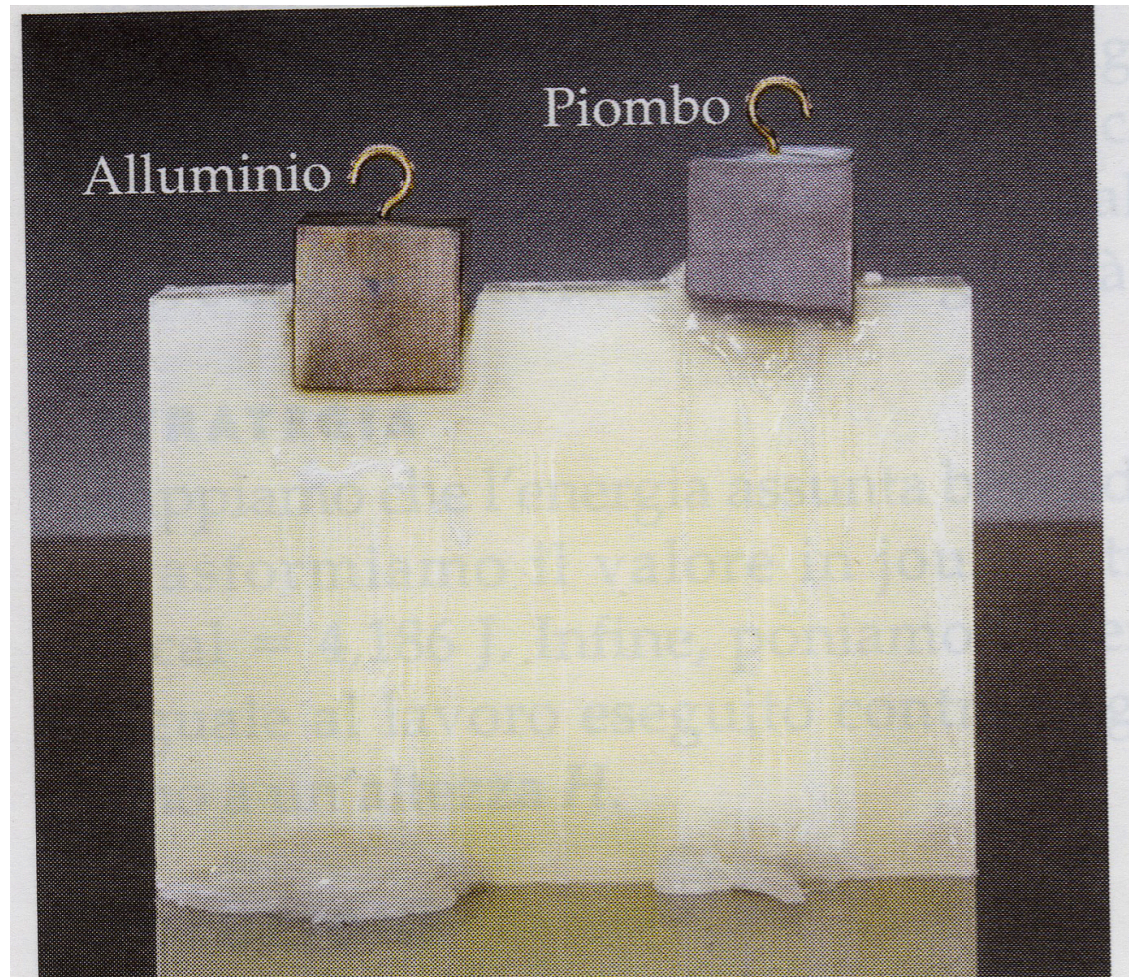
NO

Quando si può dire che due corpi alla stessa temperatura hanno la stessa energia interna?

- 1. Quando hanno la stessa massa**
- 2. Quando hanno lo stesso calore specifico**
- 3. Quando hanno la stessa capacità termica**

Calore e temperatura

L'alluminio (1 kg) scioglie più cera del piombo (4 kg), perché?



Al: $C_s=0.22$ Pb: $C_s=0.03$

Il gelato farà dimagrire?

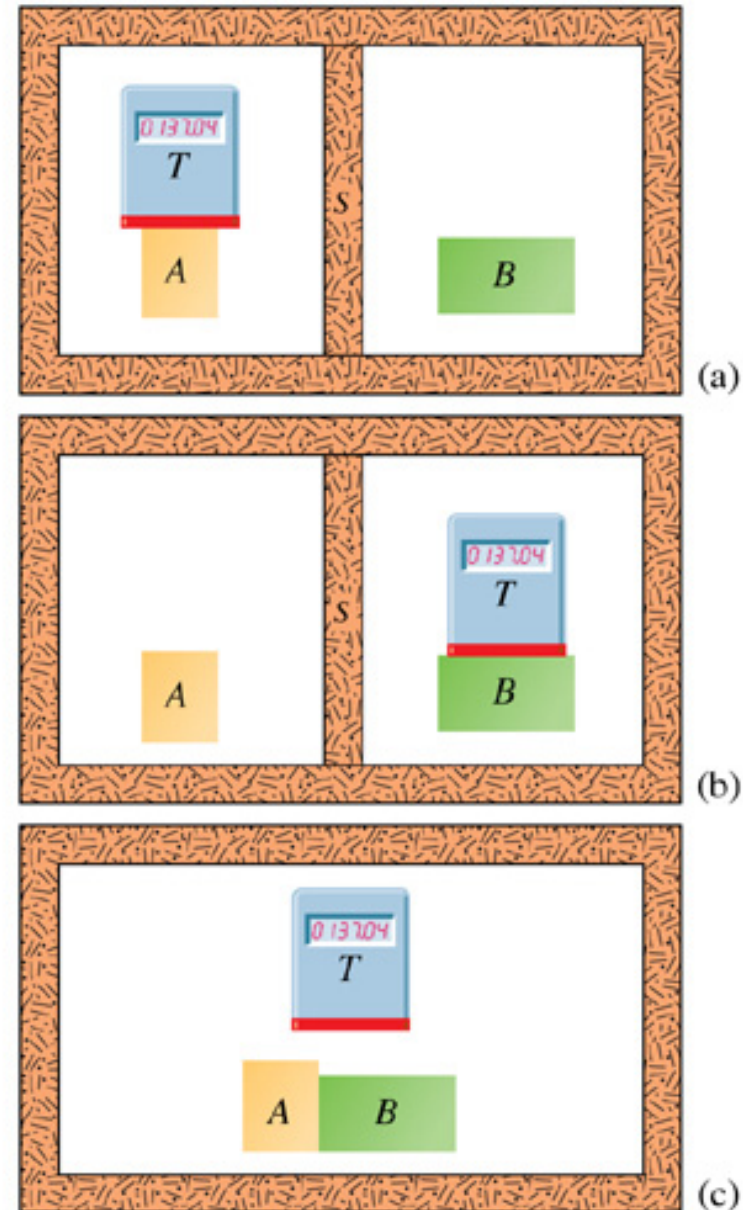
Mangiate un ghiacciolo di 150 g sulla cui etichetta è riportato un contenuto energetico di 100 Calorie (grande caloria=1 kcal). Quando lo mangiate però il vostro corpo deve produrre energia per portare il ghiaccio da -13°C fino alla temperatura corporea di 37°C. È più grande l'energia che il ghiacciolo cede a voi, o quella che voi cedete al ghiacciolo?

$$Q = 150 \frac{\text{cal}}{\text{C}} \times 50\text{C} = 7500\text{cal} = 7.5\text{kcal}$$

Principio zero della termodinamica

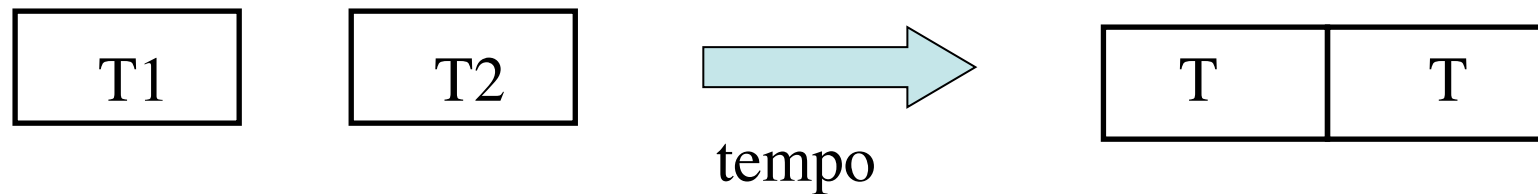
Se due corpi A e B hanno la stessa temperatura sono in **equilibrio termico** tra loro

Equilibrio termico: due corpi in contatto tra loro scambiano calore sino a che non raggiungono la stessa temperatura, cioè sono in equilibrio termico

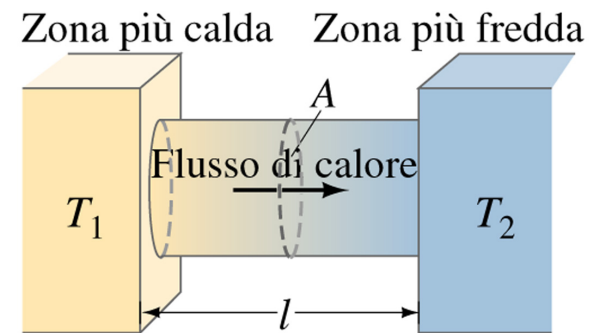
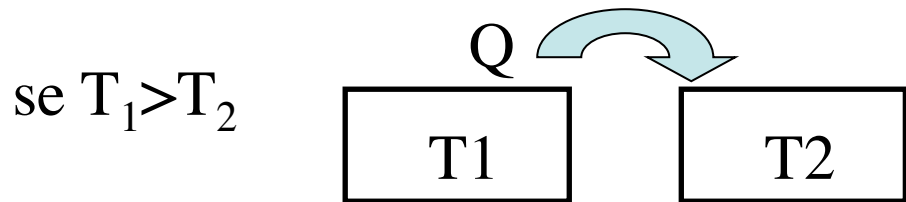


Equilibrio termico

Se due corpi a diversa temperatura vengono messi in contatto raggiungono dopo un lasso di tempo la stessa temperatura



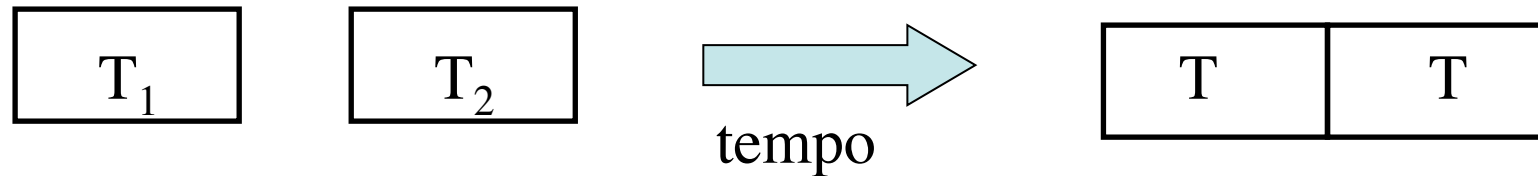
Vuol dire che del calore è fluuto dal corpo più caldo a quello più freddo



$$Q = m_1 c_1 (T_1 - T) = m_2 c_2 (T - T_2)$$

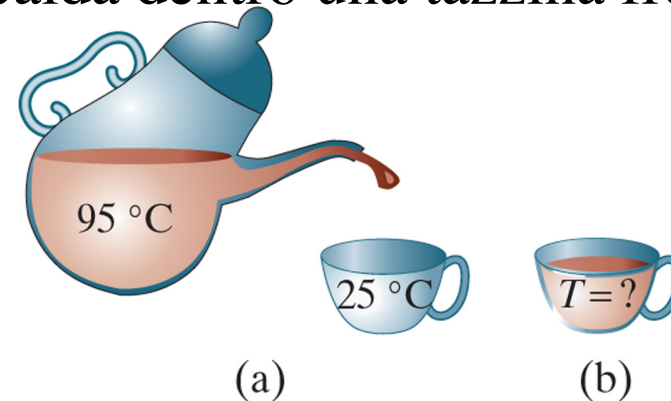
Esempi

Se due corpi a diversa temperatura vengono messi in contatto raggiungono dopo un lasso di tempo la stessa temperatura



Cosa succede quando mettiamo acqua calda dentro una tazzina fredda?

$$Q = m_1 c_1 (T_1 - T) = m_2 c_2 (T - T_2)$$
$$m_1 c_1 T_1 - m_1 c_1 T = m_2 c_2 T - m_2 c_2 T_2$$
$$T(m_2 c_2 + m_1 c_1) = m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2$$



Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

$$m_1 = 200 \text{ g} \quad m_2 = 150 \text{ g} \quad c_1 = 1.0 \quad c_2 = 0.25 \quad T_2 = 25 \text{ °C} \quad T_1 = 95 \text{ °C}$$
$$T = (200 * 1.0 * 95 + 150 * 0.25 * 25) / (200 * 1.0 + 150 * 0.25) \text{ °C} \sim 84 \text{ °C}$$

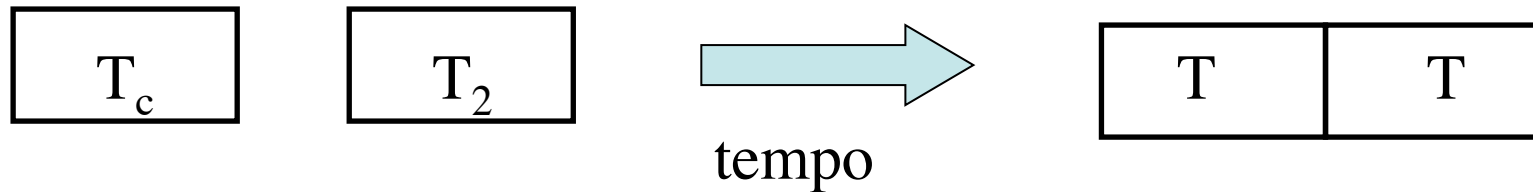
La tazzina raffredda il tè!

Sulla perturbazione delle misure

- Esercizio temperatura con termometro via equilibrio termico

Data una temperatura ambiente di $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, voglio misurare la temperatura corporea con un termometro a mercurio. Se la mia temperatura è di $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, massa 70 kg , $c_s=0.83\text{ cal}/(^{\circ}\text{Cg})$ e il termometro ha massa di 50 g e $c_s=0.2\text{ cal}/(^{\circ}\text{Cg})$, siamo sicuri che il termometro è capace di rivelare tale temperatura?

Esempi



Abbiamo la febbre, vogliamo misurare la temperatura corporea. Usando un termometro abbiamo ancora un processo di equilibrio termico. Il termometro, alla fine della misura, è in equilibrio termico con il nostro corpo.

Cosa segna esattamente il termometro? La nostra temperatura?

$$T(m_2c_2+m_c c_c)= m_c c_c T_c+ m_2 c_2 T_2$$

$$m_c=70 \text{ Kg} \quad m_2=50 \text{ g} \quad c_c=0.83 \quad c_2=0.2 \quad T_2=25 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_c=40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T=(70000*0.83*40+50*0.2*25)/(70000*0.83+50*0.2) \text{ }^\circ\text{C} =39.99 \text{ }^\circ\text{C}$$

Non è proprio la temperatura del nostro corpo ma una via di mezzo!

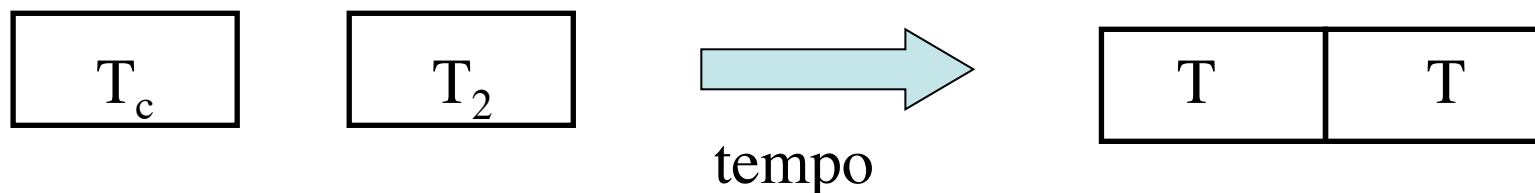
Processo misura

L'esempio del termometro per misurare la temperatura mostra che nel processo di misura in questione viene alterato il valore della temperatura del corpo, quella che vogliamo misurare.

Questo banale esempio mette luce su un problema ben più ampio nel processo di misura: la non perturbabilità di ciò che misuriamo.

La misura ideale non deve assolutamente interferire in ciò che misuriamo o il processo di misura ideale non perturba il sistema in esame.

La misura della temperatura con un termometro, cioè attraverso il raggiungimento dell'equilibrio termico, non è un processo di misura ideale, la temperatura del corpo viene alterata dall'**equilibrio termico**.



Calore specifico

Perché ci si scotta se si mantiene una sbarra metallica in mano e si scalda dalla parte opposta? Cosa succede con il legno?

Sostanza	cal/g°C
Alluminio	0.22
Rame	0.093
Vetro	0.20
Ferro	0.11
Piombo	0.031
Marmo	0.21
Mercurio	0.033
Legno	0.4
Acqua liq.	1.0
Ghiaccio	0.5
Corpo umano	0.83

Una piccola quantità di calore provoca nei metalli un grande aumento di temperatura

Il legno, il marmo e ancora di più l'acqua necessitano di tanto calore per essere scaldati (temperatura maggiore)!

Si usa l'acqua quando vogliamo accumulare tanta energia. Viene usata per gli impianti di raffreddamento o riscaldamento.

Usiamo i metalli quando vogliamo raggiungere alte temperature.

Quando si mangia una torta di mele calda ci si scotta perché le mele ricche di acqua trasferiscono molto calore alla lingua!

Esempi

1 kcal per 1 kg di ferro $c(\text{ferro})=0.11 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$

$$\Delta T=Q/mc=1 \text{ kcal}/(1\text{kg}*0.11\text{cal/g } ^\circ\text{C}) = 9 ^\circ\text{C}$$

1 kcal per 1 kg di acqua

$$\Delta T=1 ^\circ\text{C}$$

Perché ci si scotta se si mantiene una sbarra metallica in mano e si scalda dalla parte opposta?

Perché è molto facile aumentare la temperatura di un metallo, ma non solo... vedere conduzione!

Il mare è un grande serbatoio di energia, che la rilascia molto lentamente, i mesi invernali nelle regioni costiere sono meno rigidi

Intensità ed energia

Data un'energia E che viene assorbita/emessa da un corpo si definisce l'intensità I come l'energia E che passa attraverso una superficie S in un tempo t :

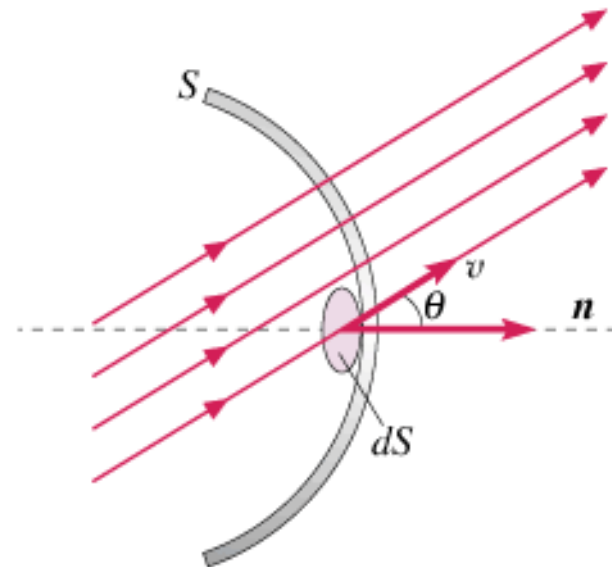
$$I = E / (S * t)$$

È simile al concetto di flusso attraverso una superficie!

Poiché $E/t = W$ (potenza)

$$I = W / S$$

Oppure $W = I * S$

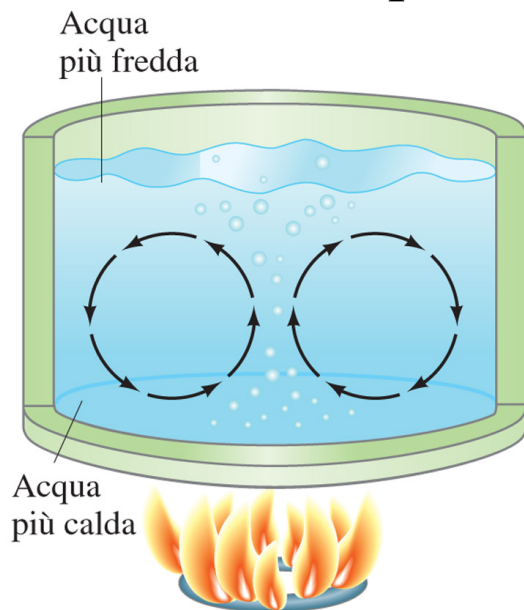


Trasmissione calore

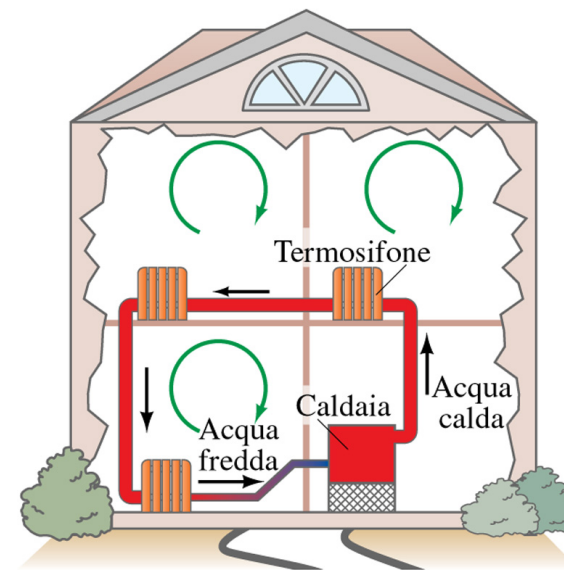
Il calore si può trasmettere da un corpo a un altro

Convezione: propagazione di calore con trasporto di materia
Esempio: stufa che scalda l'aria. Dipende essenzialmente dalla differenza di temperatura e da una costante.

$I=Q/(At)=K_{\text{conv}}\Delta T$ Correnti convettive scaldano tutta l'acqua della pentola o l'aria in una stanza



Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana



Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

Conduzione

Conduzione: propagazione senza trasporto di materia (più veloce) ma in un mezzo. Esempio: i metalli.

$$I = Q / (At) = K \Delta T / d$$

$$K_{\text{rame}} = 9.2 \cdot 10^{-2} \text{ kcal}/(\text{ms}^\circ\text{C})$$

$$K_{\text{ferro}} = 1.1 \cdot 10^{-3}$$

$$K_{\text{vetro}} = 2.0 \cdot 10^{-4}$$

$$K_{\text{acqua}} = 1.4 \cdot 10^{-4}$$

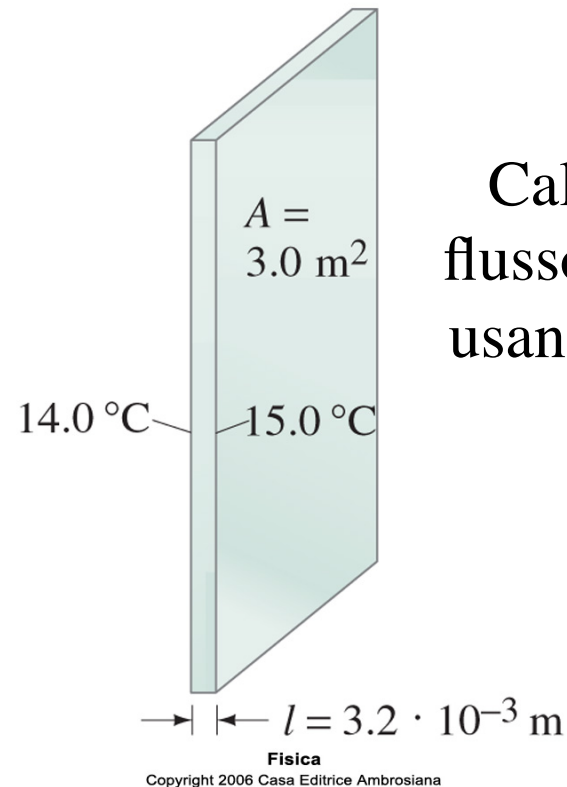
$$K_{\text{pelle}} = 0.6 \cdot 10^{-4}$$

$$K_{\text{legno}} = 0.3 \cdot 10^{-4}$$

$$K_{\text{sughero}} = 0.1 \cdot 10^{-4}$$

$$K_{\text{aria}} = 5.5 \cdot 10^{-6}$$

Il calore viaggia velocemente nei metalli, caso della barretta metallica! Molto meno attraverso le finestre, e ancor meno le doppie/triple finestre!



Calcolare il
flusso di calore
usando K_{vetro} e
 K_{aria}

Irraggiamento

Irraggiamento: ogni corpo caldo emette/assorbe calore verso/da un altro corpo sotto forma di radiazione termica

Legge di Stefan-Boltzmann:

$$I = \frac{Q}{At} = \sigma T^4$$

Intensità di energia emessa E/(At)

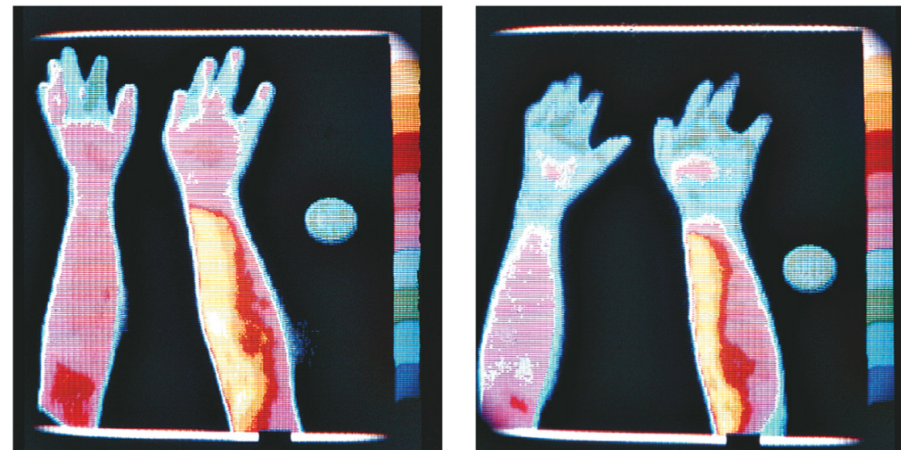
Legge di Wien:

$$\lambda_{\max}(\text{cm}) = 0.2897/T$$

Lunghezza d'onda della radiazione emessa (la cui probabilità è massima!)

La superficie del sole irradia a circa 6000 K

Noi irraggiamo energia, circa 100 Watt. Questa energia non viene completamente rimpiazzata da energia prodotta dal metabolismo. Gli indumenti sono necessari per ridurre la perdita di energia. I brividi sono un sistema tramite il quale il corpo aumenta il metabolismo



Irraggiamento

Irraggiamento: Se una persona alla temperatura T_1 si trova a contatto con l'ambiente che ha una temperatura T_2 si avrà scambio di calore. Se $T_1 > T_2$ (inverno) la persona perderà calore secondo T_1 e lo assorbirà secondo T_2 , con una perdita netta uguale a:

$$I = \frac{Q}{At} = \sigma e(T_1^4 - T_2^4)$$

dove il fattore e (emissività) vale tra 0 (corpi bianchi e lucidi) e 1 (corpi neri) ed è caratteristico della superficie.

Questo fattore è lo stesso per emissione o assorbimento. Deve essere così altrimenti due oggetti alla stessa temperatura non sarebbero in equilibrio, perché emetterebbero e assorbirebbero energia con un fattore diverso.

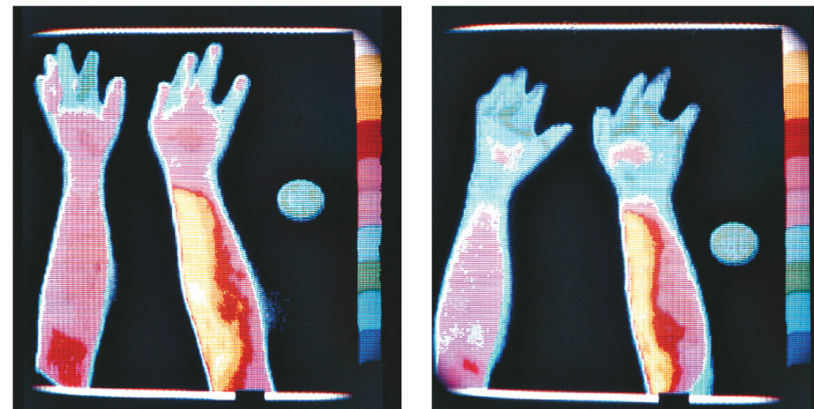
Misura Temperatura

Irraggiamento: Poiché tutti i corpi a una data temperatura emettono calore sotto forma di radiazione possiamo misurare la temperatura indirettamente misurando la radiazione emessa.

Se misuriamo la lunghezza d'onda per la quale l'emissione è massima possiamo ricavare la temperatura. È una misura di temperatura che non perturba la misura stessa! L'emissione avviene anche se non misuriamo la temperatura, contrariamente all'equilibrio termico!

$$\lambda_{\max}(\text{cm})=0.2897/T$$

Nel caso di infiammazione o di un tumore i tessuti risultano più caldi a causa della diversa attività chimica!!!



(a)

(b)

Esempio

Atleta a riposo, $A=1.5 \text{ m}^2$, $e=0.70$, $T_c=34 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{aria}=15 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\sigma=5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$

$$Q/t=A \cdot \sigma \cdot e \cdot (T_c^4-T_a^4)=(0.70 \cdot 1.5 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot (307^4-288^4))=120 \text{ W}$$

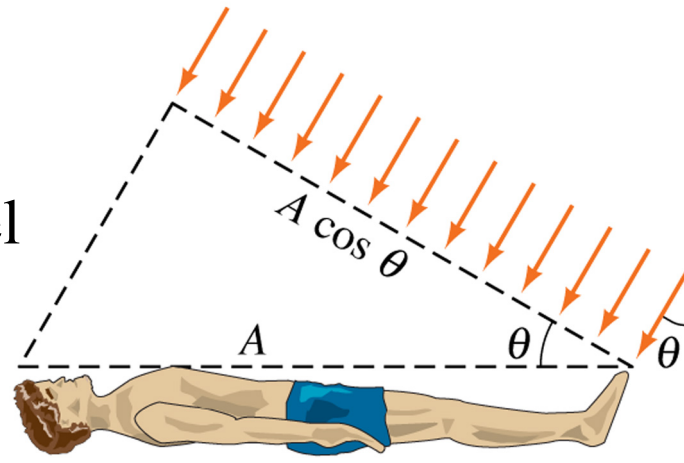
Calore Assorbito dal sole

Abbronzatura: occorre stimare il flusso di energia che investe la nostra persona inclinata di 30 gradi rispetto ai raggi del sole.

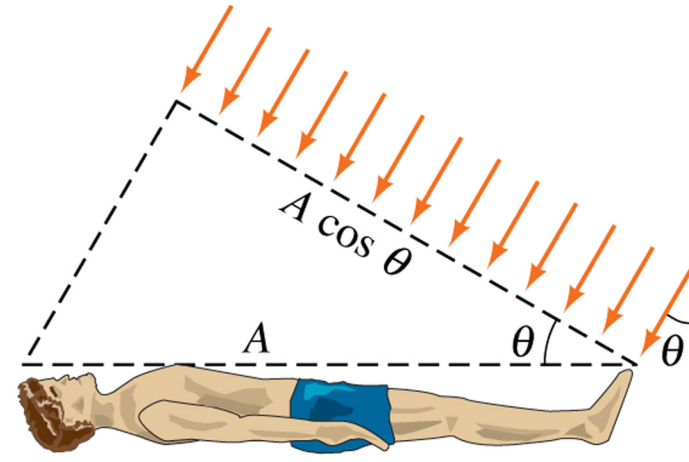
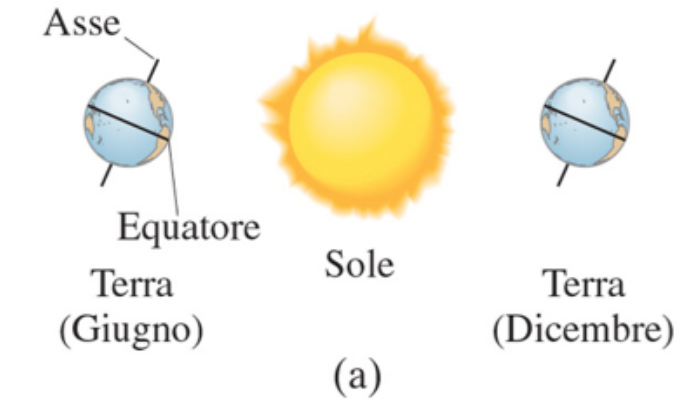
$$Q/t=eA'I$$

$$A=0.8 \text{ m}^2 \quad e=0.70 \quad \cos(30)=0.866$$

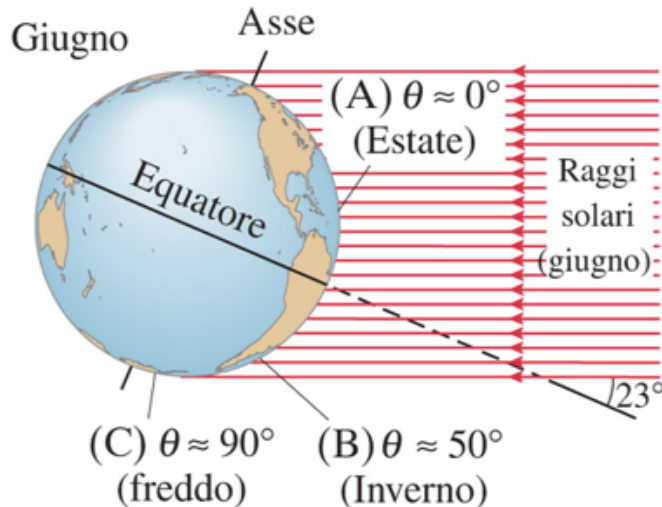
$$I=1000 \text{ W}/\text{m}^2$$



Esempio



Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

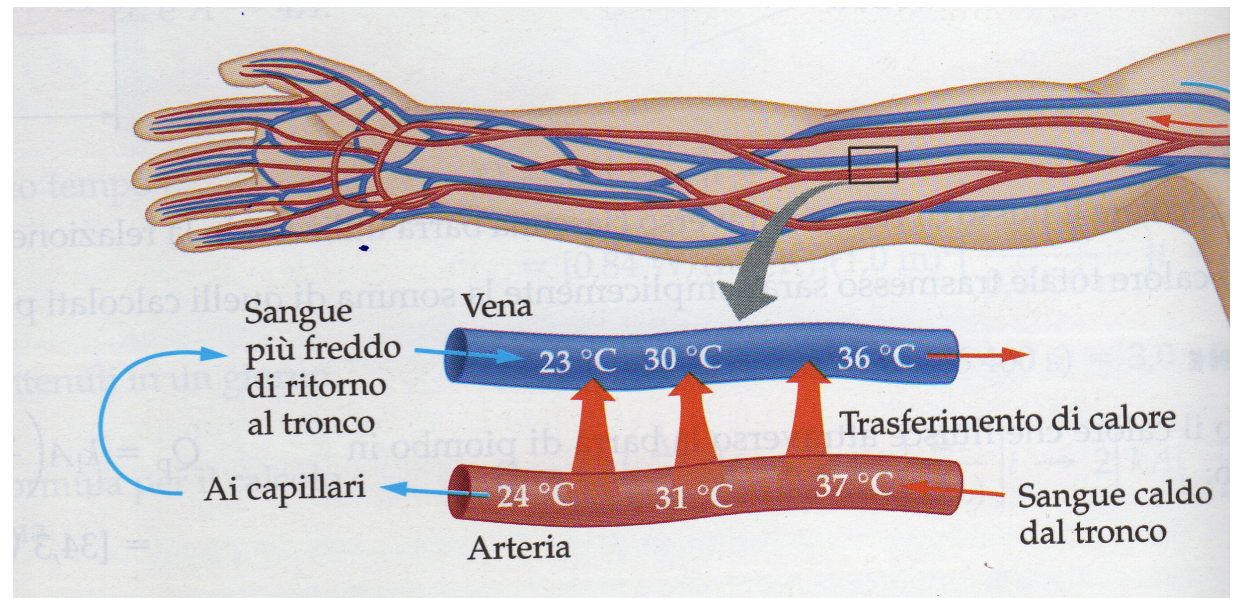
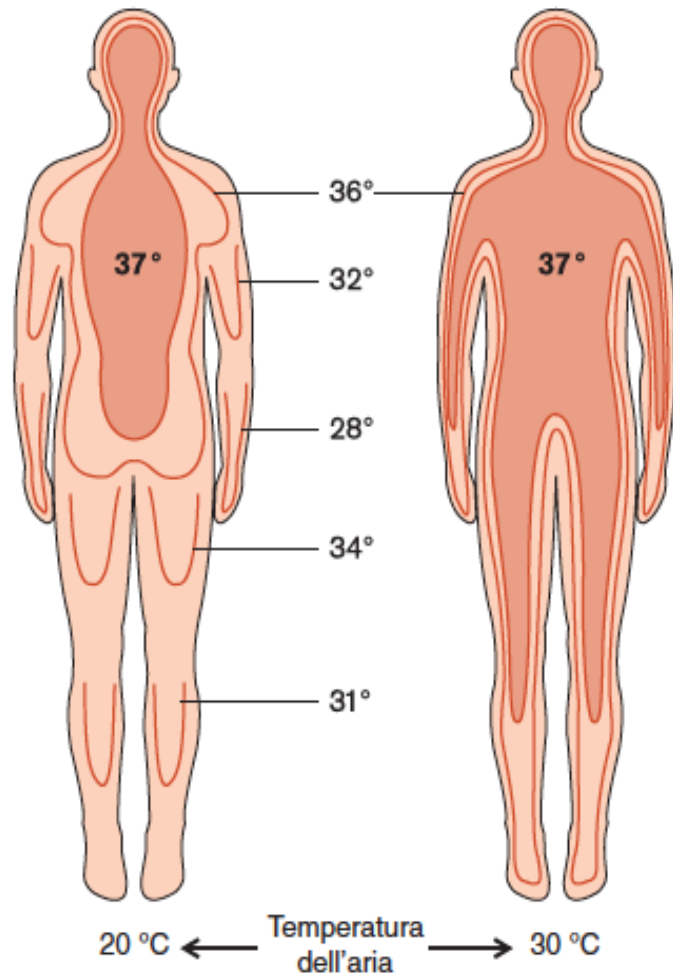


L'angolo theta varia spostandosi da Nord a Sud.

Le stagioni e le calotte polari non dipendono dalla distanza terra-sole ma dall'inclinazione dell'asse della terra rispetto alla direzione terra-sole (circa 23°). Nel nostro emisfero d'inverno siamo più vicini al sole!!!

Lezione (5) 19/01/2018
1° ora

Conduzione, Convezione, Irraggiamento



Perché sentiamo più freddo agli arti?
Scambio controcorrente!

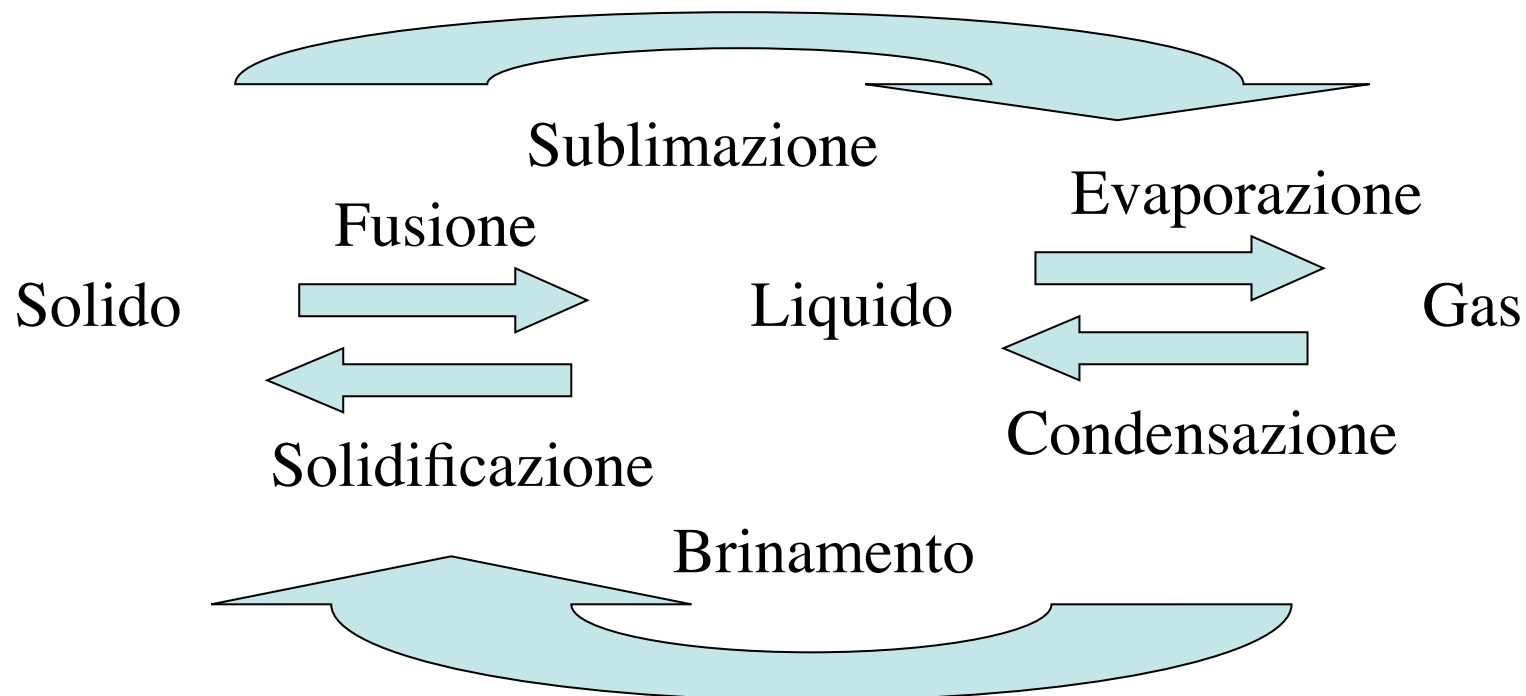
Trasformazioni termodinamiche

Uno stato termodinamico è definito dai parametri termodinamici P,V,T.

Stato termodinamico di equilibrio: parametri costanti nel tempo

Altrimenti il sistema subisce una trasformazione termodinamica

Variazioni di struttura o stato:



Esempio

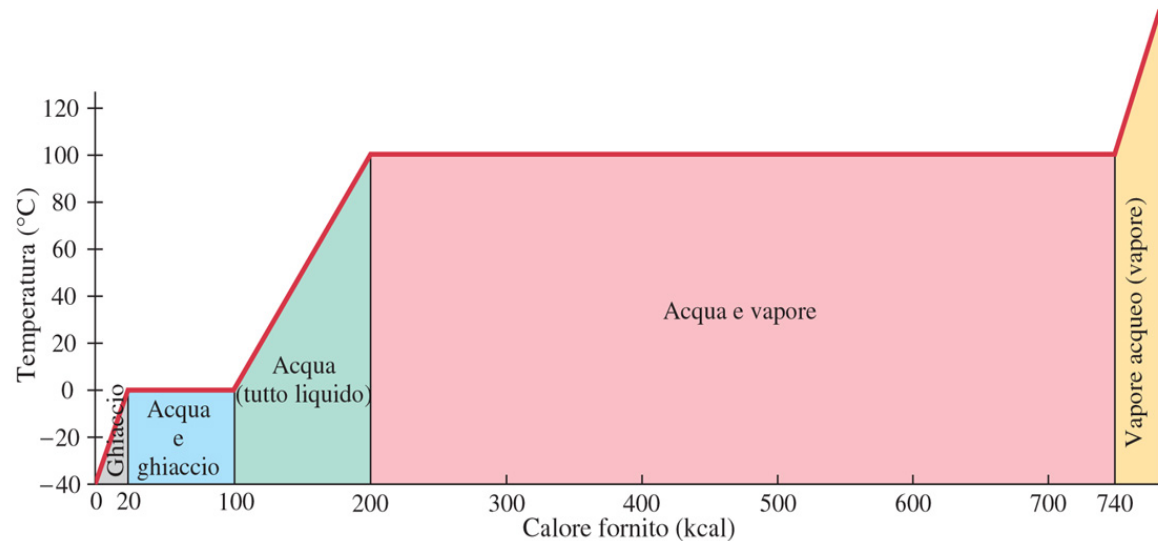
Fornendo calore possiamo:

1. Aumentare energia interna (T)
2. Possiamo avere delle trasformazioni di stato

In entrambi i casi i parametri termodinamici cambiano nel tempo.

Durante i cambiamenti di stato la temperatura rimane costante

Se parto da ghiaccio e fornisco calore si ha la seguente curva della temperatura:

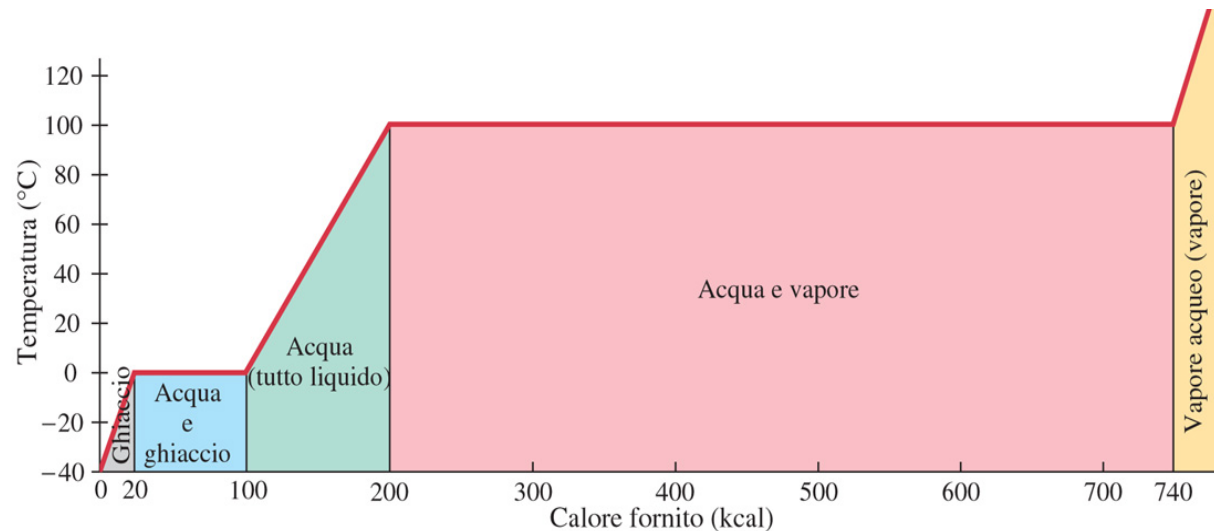


Calore latente

Grazie al fatto che la temperatura è costante durante i cambiamenti di stato è stato possibile definire la temperatura 0 °C e 100 °C come la temperatura a cui il ghiaccio si scioglie e l'acqua bolle.

Il calore fornito anziché far aumentare la temperatura serve a far cambiare lo stato di aggregazione

$Q = K_f m$
 $K_f = \text{calore latente}$
di fusione o
ebollizione



$K_f = 80 \text{ cal/g}$ per il ghiaccio che si scioglie (esempio del ghiacciolo!)

$K_f = 539 \text{ cal/g}$ per l'acqua che bolle

Vapor saturo, evaporazione ed ebollizione

Ebollizione: Pentola a pressione

Calore latente di evaporazione: $k_e = 606.5 - 0.695 * t$ (t in °C)

A ogni temperatura possiamo avere evaporazione, solo che avviene negli strati superficiali del liquido e interessa i primi strati di aria, che diventano saturi di vapore: equilibrio dinamico. La tensione di vapore è la pressione del vapor saturo a una data temperatura. Alla temperatura di ebollizione la pressione del vapor saturo è uguale alla pressione atmosferica

Vapor saturo:

Evaporazione: Panni che asciugano

Effetto sole e vento sulla pelle

Molecole in movimento

Dal punto di vista microscopico la temperatura (macroscopica) è la misura dell'energia cinetica media delle molecole o particelle del corpo considerato.

In un gas (fluido) l'energia cinetica media è per definizione proporzionale alla temperatura assoluta:

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} k_B T$$

k_B = costante di Boltzmann
T SCALA ASSOLUTA

Una evidenza che le molecole sono in continuo movimento è il moto browniano: un colorante che diffonde in acqua, un profumo che diffonde in una stanza

$$v_{qm} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}$$



Quanto vale l'energia cinetica media di una molecola di ossigeno?
L'atomo di ossigeno ha massa di 16 uma, O₂ ha massa doppia

$$v_{qm} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}$$

$$m(1_molecola) = \frac{massa(1_mole)}{N_0} = \frac{32g}{6.02 * 10^{23}} = \frac{32 \cdot 10^{-3} Kg}{6.02 * 10^{23}}$$

$$v = \sqrt{\frac{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{32 \cdot 10^{-3}}} \frac{m}{s} = 483 \frac{m}{s}$$

Velocità e diffusione

La velocità quadratica media delle particelle è molto alta. Per un gas monoatomico si parla di velocità quadratiche medie di 500 m/s.

Ma le particelle non procedono di moto rettilineo uniforme perché subiscono urti con le altre particelle.

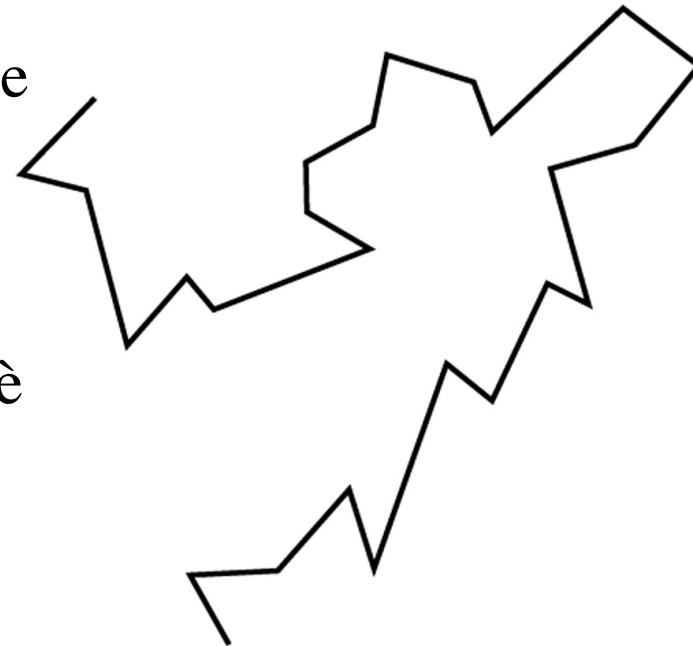
Il moto di una particella risulta una spezzata, la cui velocità effettiva è 1 milione di volte più piccola della velocità molecolare media.

Alla base c'è l'equazione di diffusione di Einstein e il moto Browniano

$$D = k_B T / 6\pi\eta R$$

$r^2 = 6Dt$ \Rightarrow la distanza percorsa non è più proporzionale al tempo come nel moto rettilineo uniforme ($v = r/t \Rightarrow r = vt$) ma alla radice del tempo:

$$r = \sqrt{6Dt}$$



Gas ideali e legge di stato

Un gas ideale è definito come un insieme di particelle **puntiformi** che interagiscono unicamente attraverso **urti elastici**, in quanto dotate di movimento secondo la legge di Boltzmann:

$$\frac{3}{2}k_B T = \frac{1}{2}mv^2$$

La pressione è associata agli urti delle molecole sulle pareti del contenitore. Esiste una relazione che lega la pressione P , la temperatura T (ASSOLUTA) e il volume V di un gas ideale, detta equazione di stato dei gas ideali. Questa è stata ricavata da leggi empiriche:

$$PV = nRT$$

Legge di stato

Dal punto di vista fenomenologico sappiamo che la pressione:

1. è inversamente proporzionale al volume
2. aumenta con la temperatura
3. aumenta con il numero di particelle

$$P \propto \frac{1}{V}$$

$$P \propto T$$

$$P \propto N$$

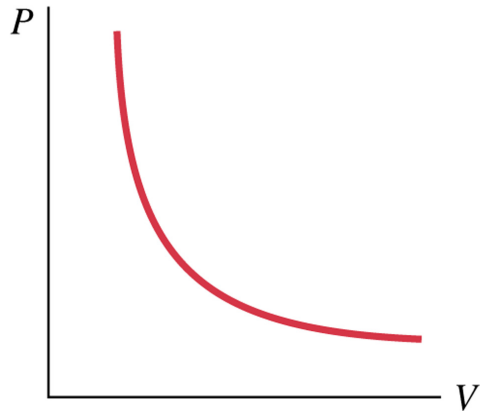
Condensando le tre espressioni possiamo scrivere:

$$P = k \frac{NT}{V} = n \frac{RT}{V}$$

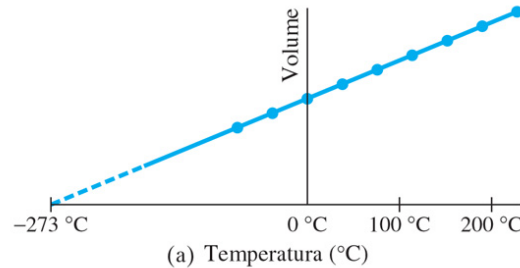
Dove k è proprio la costante di Boltzmann!

$$P = n \frac{RT}{V}$$

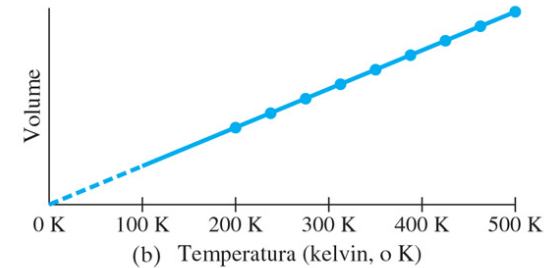
Leggi dei gas (empiriche)



Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana



(a) Temperatura (°C)



(b) Temperatura (kelvin, o K)

$$PV = \text{costante}$$

Legge di Boyle

$$V = V_0 (1 + \alpha t)$$

Prima e seconda legge di Gay-Lussac

$$P = P_0 (1 + \beta t)$$

Il coefficiente di dilatazione è lo stesso per tutti i gas e vale per entrambe le leggi. V_0 e P_0 sono rispettivamente Volume e Pressione a $t=0^\circ$ Celsius.

$$\alpha = \beta = \frac{1}{273^\circ}$$

In questa formulazione t scala Celsius!!

Esempi

$$PV=nRT$$

$$R=8.314 \text{ J}/(\text{mol K})=0.0821 \text{ (L atm)}/(\text{mol K})$$

Date due variabili si ricava la terza

1 mole di gas= numero di Avogadro di particelle

1 mole di gas alla temperatura di 273 K e alla pressione atmosferica si dice alla condizione standard

$$V=nRT/P=1 \text{ mole} \cdot 0.0821 \text{ (L atm)}/(\text{mole K}) \cdot 273 \text{ K} / 1 \text{ atm} = 22.4 \text{ L}$$

I gas reali sono molto vicini, a temperature oltre i 273 K e a pressioni non troppo elevate, ai gas ideali.

Per un gas che passa dallo stato 1 allo stato 2 si ha che (il numero di moli è costante)

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Respirazione

La respirazione avviene secondo due meccanismi differenti che coinvolgono strutture e leggi fisiche diverse :

1. **Respirazione polmonare**, azione meccanica che coinvolge i muscoli, detta anche ventilazione (**legge di Poiseuille**)
2. **Respirazione alveolare**, meccanismo molecolare, scambio gassoso a livello membranare (**pressioni parziali**)

1. Nella respirazione polmonare tessuti con proprietà elastiche connettono polmoni e gabbia toracica. Le forze elastiche, prodotte dall'espansione/contrazione della gabbia toracica (uso di diversi muscoli) e mediate dalla viscosità del liquido pleurico, controllano la dinamica dei polmoni, che possono essere visti come una sacca passiva. Prima vediamo come funzionano le forze elastiche in generale:

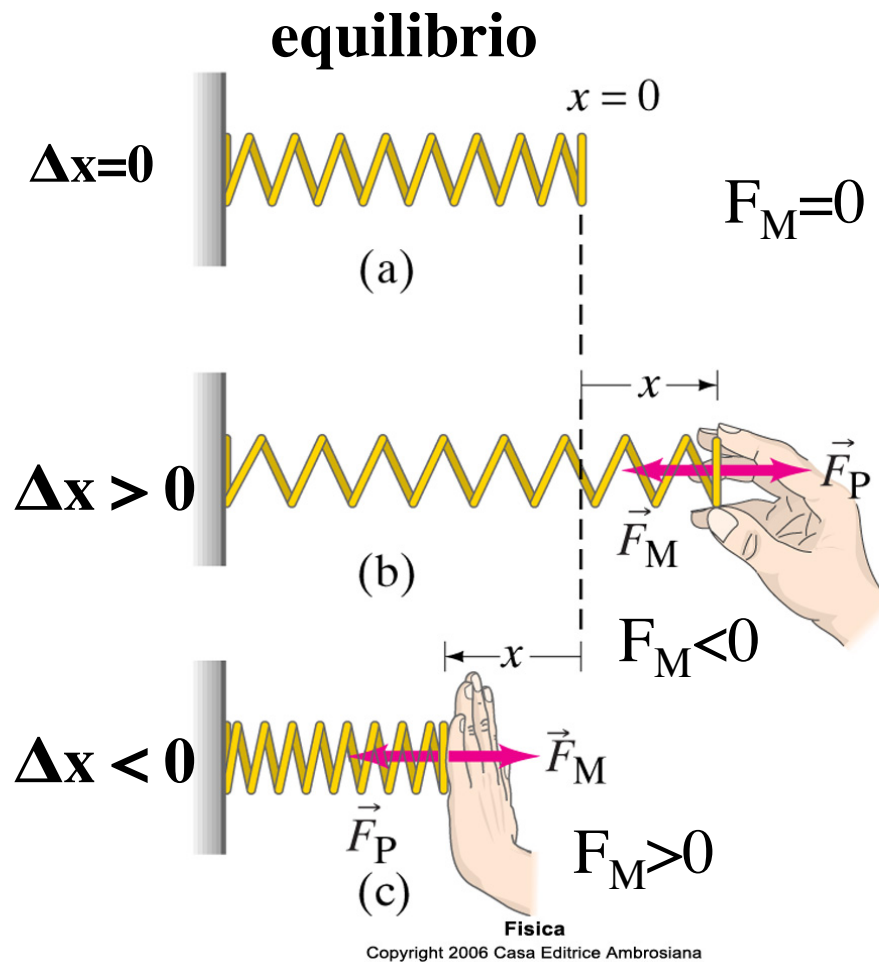
Forze elastiche e legge di Hooke

Le forze elastiche sono forze che si producono nei materiali quando vengono sottoposti a perturbazioni (forze) esterne che ne modificano la forma/geometria.

Prendiamo come esempio una molla: la legge di Hooke ci dice quanto vale la forza di richiamo quando la spostiamo dal suo equilibrio naturale. La forza riporta la molla all'equilibrio.

Ci sono due forme per scrivere la forza:

Δx =variazione lunghezza molla
 x =posizione estremo molla

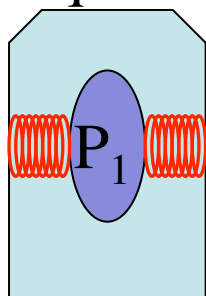


$$F_M = -k\Delta x = -k(x - x_0)$$

$$F_M = -kx$$

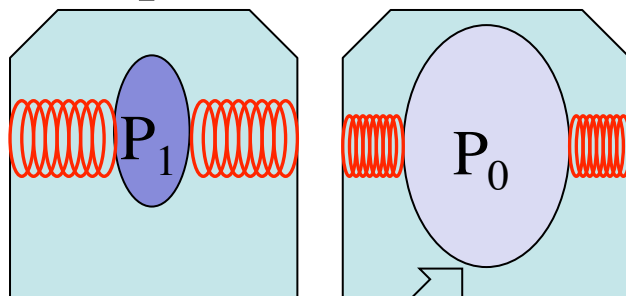
Inspirazione

Equilibrio



P_1

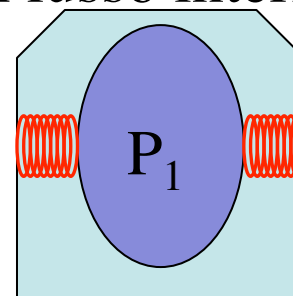
Espansione toracica



P_1

Depressione interna

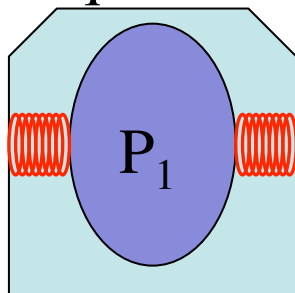
Flusso interno $Q = \Delta V / \Delta t$



P_1

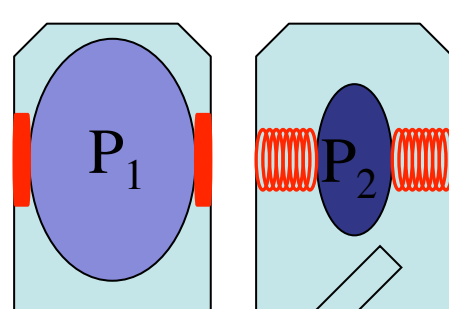
Espirazione

Equilibrio



P_1

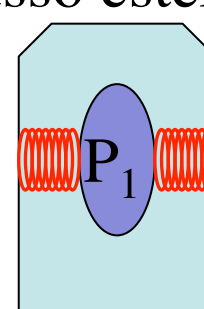
Contrazione toracica



P_1

Sovrapressione interna

Flusso esterno $Q = \Delta V / \Delta t$



P_1

Respirazione

1. Nella Respirazione polmonare ho bisogno di uno scambio di volumi d'aria, portare aria ricca di ossigeno all'interno (inspirazione) e portare aria ricca di anidride carbonica all'esterno (espirazione), la portata Q dipende dal gradiente di P
2. Nella Respirazione alveolare invece ho aria all'interno e all'esterno del tessuto alveolare, stessa pressione P_1 ma composizione diversa (presenza di ossigeno e anidride carbonica). Per capire come avviene il passaggio di ossigeno in una direzione e dell'anidride carbonica in direzione opposta bisogna introdurre il concetto di pressioni parziali.

Pressioni parziali

Se anziché avere un solo gas si ha un miscuglio di gas (come l'aria che respiriamo) allora ogni singolo gas che compone il miscuglio esercita una pressione parziale uguale alla percentuale nel miscuglio

$$n_{\text{TOT}} = n_1 + n_2 + n_3$$

$$P_{\text{TOT}} = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P_{\text{TOT}} V = n_{\text{TOT}} RT$$

$$P_{\text{TOT}} = n_{\text{TOT}} RT / V = (n_1 + n_2 + n_3) RT / V$$

$$P_{\text{TOT}} = P_1 + P_2 + P_3$$

$$n_{\text{TOT}} = 1 \text{ mole di aria}$$

$$n_1 = n_{\text{TOT}} * 80\% \text{ azoto}$$

$$n_2 = n_{\text{TOT}} * 16\% \text{ ossigeno}$$

$$n_3 = n_{\text{TOT}} * 4\% \text{ CO}_2$$

$$P_1 = 80\% \text{ 1 atm} = 0.8 \text{ atm}$$

$$P_2 = 16\% \text{ 1 atm} = 0.16 \text{ atm}$$

$$P_3 = 4\% \text{ 1 atm} = 0.04 \text{ atm}$$

In base a questo principio sono possibili gli scambi gassosi nei polmoni e nei tessuti. Solo il gas che ha una diversa pressione parziale viene scambiato.

Scambio gassoso

